Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 4, 2025, p. 605-624

Evaluation of Ecological Resilience of Agricultural Ecosystems in Razavi Khorasan Province: Comparison of Integrated and Non-Integrated Ecosystems

Pegah Naghipour[1], Mehdi Nassiri Mahallati[2*], Alireza Koocheki[2], and Soroor Khorramdel[3]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively
(*- Corresponding author's Email: mnassiri@um.ac.ir)

Received: 26-01-2022
Revised: 29-01-2024
Accepted: 30-01-2024
Available Online: 22-01-2025

How to cite this article:
Naghipour, P., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Khorramdel, S. (2025). Evaluation of ecological resilience of agricultural ecosystems in Razavi Khorasan province: Comparison of integrated and non-integrated ecosystems. *Journal of Agroecology*, *16*(4), 605-624. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.86287.1184

Introduction

Agriculture plays a very important role in the realization of many of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). If agriculture is to make a positive contribution to achieving these goals, ensuring the ecological resilience of farmers, i.e. improving the adaptation capacity of the households as well as the whole production system to a wide range of environmental changes and shocks, is crucial. The intensification of climate change caused by global warming and its consequences, including the occurrence of long droughts, floods and other natural disasters, have threatened the food security of subsistence farmers and smallholders in the first place, and the food security of large communities in the long run. Also, recently, the COVID-19 pandemic and the possibility of similar epidemics have created more concerns. Therefore, the issue of resilience has been highly considered by researchers and international organizations, especially the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), so resilience has been defined as one of the 10 elements of agroecology. On the other hand, numerous research evidence have shown that integrated systems (combination of crop cultivation and animal husbandry) in order to increase structural and functional diversity and increase ecological resilience against severe environmental stresses and climate changes. In addition, integrated systems have different resilience and ecological stability depending on the intensity, amount and type of integration. Therefore, in recent years, a large number of researches have been conducted to address the resilience of agricultural systems. Since the ecological dimensions of resilience have not been comprehensively investigated in Iran, the purpose of this research is to evaluate the ecological resilience of rural households in Razavi Khorasan province and compare systems based on agriculture, based on livestock and integrated systems of agriculture and livestock. In this research, the recommended method of FAO has been used to evaluate resilience.

Materials and Methods

The required information was collected from 87 households from 10 cities within the province by completing a comprehensive questionnaire and face-to-face interviews with households. Data were analyzed using the

https://doi.org/10.22067/agry.2024.86287.1184

RIMA II-FAO method. Clustering of 87 households based on their corresponding cultivated area of crops, saffron and the number of livestock units resulted in 4 livelihood groups, including only cropping (G1), the integrated crop-livestock at medium level (G2), only livestock at large level (G3) and integrated crop-livestock both at large level (G4). The resilience of households in each group was evaluated based on 5 components (asset, adaptive capacity, biodiversity, intensification, and use of ecosystem services), each measured by a number of indicators. The scores of 5 components were aggregated after weighting by using factor analysis and normalization to develop a composite resilience index on a 1-5 scale.

Results and Discussion

The results showed a significant relationship between the resilience of rural households and the 5 mentioned components, where intensification had a negative correlation with resilience, while the impact of assets, adaptation capacity, biodiversity and use of ecosystem services on household resilience was positive with the highest correlation for biodiversity. The households of integrated crop-livestock groups (G2) and (G4) had the highest resilience compared to households in single enterprise groups i.e. only cropping (G1) and only livestock (G3), with the lowest resilience in G3. In general, the high score of the components of biodiversity, ecosystem services, and adaptive capacity, as well as the low level of intensification in small to medium-scale integrated crop-livestock systems, resulted in more resilient households while large-scale single enterprise households had lower resilience despite their higher assets.

Conclusion

Resilience is a fundamental basis of sustainability, and it refers to the ability of systems to return to their initial state after facing environmental tensions. The main purpose of the present study was to evaluate the ecological resilience of the agriculture ecosystems of Khorason Razavi province. The main findings indicated that the integrated farmlands with other activities, particularly with animal husbandry, are much more resilient than pure and monotype farm production systems.

Acknowledgements

We are grateful to the Honorable Vice Chancellor of Research and Technology of Ferdowsi University of Mashhad for providing the costs of this research.

Keywords: Adaptive capacity, Biodiversity, Composite resilience index, Integrated system, Intensification, Sustainable agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣، ص ٦٢٤-٦٠٥

ارزیابی تاب‌آوری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های کشاورزی استان خراسان رضوی: مقایسه بوم‌نظام‌های تلفیقی و غیر تلفیقی

پگاه نقی پور[1]، مهدی نصیری محلاتی[2*]، علیرضا کوچکی[2] و سرور خرم دل[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

چکیده

کشاورزی بخش بسیار مهمی از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل را در بردارد. کشاورزی در صورتی می‌تواند نقش مثبتی در دستیابی اهداف توسعه پایدار داشته باشد که از تاب‌آوری اکولوژیکی و بهبود ظرفیت‌های مرتبط با آن در جهت مقابله با طیف گسترده‌ای از چالش‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی برخوردار باشد. در این پژوهش، تاب‌آوری اکولوژیکی بوم‌نظام‌های کشاورزی استان خراسان رضوی براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از ۸۷ خانوار و در ۱۰ شهرستان این استان مورد ارزیابی کمّی قرار گرفت. برای این منظور، اطلاعات مورد نیاز با تکمیل پرس‌شنامه جامع و مصاحبه حضوری با خانوارها جمع‌آوری شد و داده‌ها با استفاده از روش RIMA II-FAO تجزیه و تحلیل شدند. در این رابطه، ابتدا خانوارهای روستایی براساس سطح زیرکشت محصولات زراعی و همچنین تولید زعفران (*Crocus sativus*) و تعداد واحدهای دامی در مالکیت آن‌ها خوشه‌بندی شد و بوم‌نظام‌ها در چهار گروه دسته‌بندی شدند. گروه اول: تنها به زراعت مشغول بودند (G_1)، گروه دوم: نظام تلفیقی زراعت و دامداری در سطح متوسط داشتند (G_2)، گروه سوم: تنها به دامداری در سطح بزرگ مشغول بودند (G_3) و گروه چهارم: دارای هر دو نظام تلفیقی زراعت و دامداری در سطح بزرگ (G_4) بودند. تاب‌آوری خانوارها در هر یک از این چهار گروه براساس پنج مؤلفه (میزان دارایی، ظرفیت سازگاری، وضعیت تنوع زیستی، شدت فشرده‌سازی و استفاده از خدمات بوم‌نظامی) که هر یک با تعدادی نمایه سنجیده شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیازهای این پنج مؤلفه بعد از وزن دهی و نرمال‌سازی تجمیع شد و شاخصی در مقیاس صفر تا پنج برای تاب‌آوری محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بین تاب‌آوری سیستم‌های زراعی و پنج مؤلفه مذکور، رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود داشت و از بین آن‌ها، تنوع زیستی بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری خانوارهای کشاورز داشت. همچنین مؤلفه‌های میزان دارایی، ظرفیت سازگاری و استفاده از خدمات بوم‌نظامی نیز به‌طور مستقیم بر افزایش تاب‌آوری خانوارهای روستایی تأثیرگذار بودند، درحالی‌که فشرده‌سازی دارای تأثیر منفی بر شاخص تاب‌آوری خانوارهای روستایی بود. بر این اساس، خانوارهای گروه (G_2) و (G_4) یعنی بوم‌نظام‌هایی که با تلفیق دامداری و زراعت مدیریت می‌شدند، به‌ترتیب بیشترین میزان تاب‌آوری را نسبت به دو گروه دیگر، یعنی خانوارهایی که تنها به زراعت مشغول بودند (G_1) و خانوارهایی که تنها به دامداری مشغول بودند (G_3) به خود اختصاص دادند و کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به خانوارهایی بود که تنها به دامداری در سطح بزرگ مشغول بودند (G_3) بود. در مقایسه نظام‌های تلفیقی مشخص شد که به‌طور کلی، بالا بودن امتیاز مؤلفه‌های تنوع زیستی، خدمات بوم‌نظام، ظرفیت سازگاری، میزان پایین فشرده‌سازی، همچنین سطوح کوچک‌تر مزارع مربوط به خانوارهایی که نظام تلفیقی زراعت و دامداری در سطح متوسط داشتند (G_2) از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده سطح بالای تاب‌آوری در این گروه نسبت به نظام‌های تلفیقی زراعت و دامداری هر دو در سطح بزرگ (G_4) بود.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، تنوع زیستی، شاخص مرکب ظرفیت سازگاری، فشرده‌سازی، کشاورزی پایدار، نظام تلفیقی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/agry.2024.86287.1184

مقدمه

در طی بیش از ۵۰ سال گذشته، فشرده‌سازی بوم‌نظام‌های کشاورزی با صرف انرژی بالا برای تولید محصولات غذایی در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران رایج شده است. اگرچه این نظام‌ها با موفقیت اقتصادی همراه هستند، امّا نگرانی‌های بسیاری در مورد اثرات منفی ناخواسته آن‌ها بر محیط‌زیست وجود دارد (Panel et al., 2014).

هولینگ (Holling, 1973) برای اولین بار، تاب‌آوری زیست‌محیطی را به‌عنوان توانایی سیستم‌های طبیعی برای حفظ کارکرد و ساختار اصلی خود در هنگام بروز اختلال تعریف کرد. از آن زمان، تعاریف متعددی برای تاب‌آوری ارائه‌شده، امّا به‌طور کلی تاب‌آوری معیاری از "ظرفیت سیستم برای تحمل تنش‌ها" می‌باشد (Bousquet et al., 2016). تاب‌آوری یکی از شاخص‌های مهم در برآورد میزان مقاومت بوم‌نظام‌های زراعی در مواجهه با تنش‌های شدید محیطی و تغییر اقلیم است، ازاین‌رو بسیاری از محققان، تاب‌آوری را به‌عنوان بخش مهمی از پایداری می‌دانند (Marchese et al., 2017). به بیان دیگر، بوم‌نظام‌هایی دارای تاب‌آوری بالا هستند که قادر باشند از طریق تنوع ساختاری و کارکردی بالا در مقابل تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی مقاومت کنند (Gil et al., 2017). بر این اساس، فشرده‌سازی و کاهش تنوع در سیستم‌های رایج نسبت به سیستم‌های تلفیقی باعث کاهش کارکردهای بوم‌نظام‌ها شده و درنتیجه، ثبات، تاب‌آوری و پایداری آن‌ها کاهش می‌یابد (Oliver et al., 2017).

تشدید تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی و پیامدهای آن شامل بروز خشکسالی‌های طولانی، سیل و سایر بلایای طبیعی در وهله اول امنیت غذایی کشاورزان معیشتی و خرده‌مالکان و در درازمدت امنیت غذایی جوامع بزرگ را مورد تهدید قرار داده (Bizikova et al, 2016) و اخیراً پاندمی کووید ۱۹ (Christophe et al., 2021) و امکان بروز همه‌گیری‌های مشابه، نگرانی‌های بیشتری را به‌وجود آورده است. ازاین‌رو، موضوع تاب‌آوری به‌شدت مورد توجه محققان و سازمان‌های بین‌المللی به‌ویژه سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو)[1] قرار گرفته، به‌طوری‌که تاب‌آوری به‌عنوان یکی از عناصر ۱۰گانه اگرواکولوژی تعریف شده است (Barrios et al., 2020). تحقیقات و مطالعات صورت گرفته در مورد تاب‌آوری خانوارهای روستایی و نظام‌های کشاورزی از نظر امنیت غذایی در فلسطین و کرانه باختری (Alinovi et al., 2008)، نیجریه (Aboubakr et al., 2016)، کنیا (Alinovi et al., 2010)، لیتوانی (Volkov et al., 2021)، انگلستان و ویلز (Berry et al., 2022) مثال‌هایی از مطالعات گسترده‌ای است که در دو دهه گذشته انجام گرفته است.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه تاب‌آوری بوم‌نظام‌های کشاورزی انجام شده است، برای مثال در ارزیابی تاب‌آوری بوم‌نظام‌های زراعی ایران به تغییر اقلیم گزارش شده است که استان‌های گیلان، هرمزگان و بوشهر بیشترین و استان‌های چهارمحال و بختیاری، قم و مرکزی کمترین تاب‌آوری را دارند و استان خراسان رضوی دارای تاب‌آوری متوسط می‌باشد (Ehsani & Shokoohi, 2022). مطالعه تاب‌آوری تولیدات کشاورزی ایران از نظر امنیت غذایی (Nakhli.& Bastani, 2023) و ارزیابی ظرفیت سازگاری نظام‌های زراعی ایران به تغییر اقلیم (Abdollahzadeh et al., 2023) نیز ازجمله پژوهش‌های جدید در این ارتباط هستند.

در مطالعات فوق و نیز سایر پژوهش‌های انجام شده در ایران، تاب‌آوری اقتصادی خانوارهای روستایی ارزیابی شده و ابعاد اکولوژیکی تاب‌آوری کمتر مورد توجه قرار گرفته است، درحالی‌که تاب‌آوری نسبت به تغییرات محیطی مستلزم وجود ویژگی‌های ساختاری و کارکردی در بوم‌نظام است (Allen et al., 2014) و بدون تحقق این ویژگی‌ها، تاب‌آوری حاصل نخواهد شد. بر این اساس، اخیراً برخی محققان با تأکید بر اهمیت ابعاد اکولوژیکی به بررسی تاب‌آوری در تولید محصولات زراعی (Zampieri et al., 2020)، نقش تنوع زیستی (Dardonville et al., 2022) و خدمات بوم‌نظامی (Varyvoda & Taren, 2022) در شکل‌گیری و بالا بردن سطح تاب‌آوری پرداخته‌اند. در همین راستا، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2022)، تاب‌آوری بوم‌نظام‌های تولید گندم دیم ایران (*Triticum aestivum*) به تغییرات اقلیمی را ارزیابی کرده و با استفاده از مدل شبیه‌سازی نشان دادند که استفاده از تناوب مناسب (افزایش تنوع زمانی) تأثیر چشمگیری در بالا بردن تاب‌آوری این بوم‌نظام‌ها دارد.

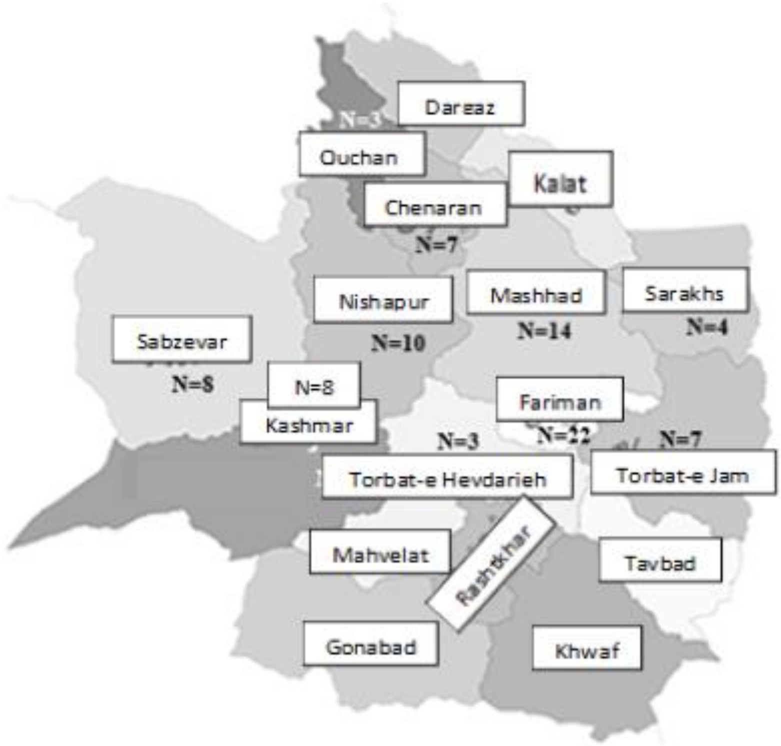
1 -Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

از سوی دیگر، شواهد متعدد پژوهشی نشان داده است که نظام‌های تلفیقی (تلفیق کشت محصولات زراعی و دامداری) به جهت افزایش تنوع ساختاری و کارکردی، تاب‌آوری اکولوژیکی را در برابر تنش‌های شدید محیطی و تغییرات اقلیمی افزایش می‌دهند (Panel et al., 2014). به‌علاوه سیستم‌های تلفیقی بسته به شدت، میزان و نوع تلفیق، از تاب‌آوری و پایداری اکولوژیکی متفاوتی برخوردار هستند (Gil et al, 2017). یافته‌های مطالعه‌ای در هندوستان (Paramesh et al., 2022) نشان داد که تلفیق زراعت و دامداری تاب‌آوری، ثبات، بازده اقتصادی و امنیت غذایی خانوارهای روستایی را در مقابل تغییرات اقلیمی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. در مطالعه دیگری نیز نتایج مشابهی از تأثیر مثبت نظام‌های تلفیقی بر افزایش تاب‌آوری گزارش شده است (Szymczak et al., 2020)، به نظر می‌رسد که تلفیق دامداری و زراعت از طریق ارتقاء خدمات بوم‌نظامی باعث بهبود تاب‌آوری در مقابل تغییرات محیطی می‌شود (Franzluebbers et al., 2023).

ازآن‌جاکه ابعاد بوم‌شناختی تاب‌آوری در ایران به‌طور جامع بررسی نشده است، هدف از این پژوهش ارزیابی تاب‌آوری اکولوژیکی خانوارهای روستایی استان خراسان رضوی و مقایسه نظام‌های متکی به زراعت، متکی به دامداری و نظام‌های تلفیقی زراعت و دامداری است. در این تحقیق از روش توصیه شده فائو برای ارزیابی تاب‌آوری استفاده شده است (FAO, 2016).

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی (قوچان، چناران، مشهد، فریمان، نیشابور، سبزوار، سرخس، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و کاشمر اجرا شد. طبقه‌بندی اقلیمی نواحی جغرافیایی استان خراسان رضوی با استفاده از هشت پارامتر مهم اقلیمی (میانگین دما، حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت اتمسفری، سرعت باد، یخبندان، بارش و تعداد ساعات آفتابی)، برای ۱۷ ایستگاه سینوپتیک واقع استان خراسان رضوی انجام شده است (Zandi, 2017)، مؤلفه‌های یاد شده، حدود ۳/۹۷ رفتار اقلیمی استان را تبیین کردند.



شکل ۱- شهرستان‌های منتخب در استان خراسان رضوی

Fig. 1- Selected counties in Khorasan Razavi province

تعداد نمونه (N) در هر شهرستان روی نقشه ذکر شده است.

Sample size (N) for each county is shown on the map

تحلیل روی پارامترهای یاد شده، وجود شش ناحیه آب‌وهوایی براساس شاخص دومارتن را در استان نشان داد؛ بر این اساس، نمونه‌برداری براساس اقلیم استان صورت گرفت و درمجموع، تعداد ۵۸ روستا در شهرهای مذکور انتخاب و در هر روستا، تعدادی از خانوارهای کشاورز مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل ۱، شهرستان‌ها و تعداد نمونه مربوط به هر شهرستان مشخص شده است. شهرستان‌هایی که در نقشه نمونه‌برداری نشدند دارای اقلیم مشابهی با شهرستان‌های انتخاب‌شده برای نمونه‌برداری بودند.

روش نمونه‌گیری: تعداد نمونه (N) در هر شهرستان براساس معادله کوکران (معادله ۱) برآورد شد (Cochran, 1977). بدین منظور، ابتدا با انتخاب تصادفی ۳۰ نمونه، واریانس (S^2) بین نمونه‌ها محاسبه شد و سپس، با اطمینان ۹۵ درصد ($Z_{5\%} = 1.96$) و پذیرش ۱۰ درصد خطا (e=0.1)، حجم نمونه محاسبه شد.

$$N = \frac{S^2 Z^2}{e^2}$$ معادله (۱)

لازم به ذکر است که جهت افزایش دقت، به تعداد نمونه تعیین شده از طریق معادله ۱، ۱۰ درصد اضافه شد.

جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها: این مطالعه به‌صورت مقطعی[1] اجرا شد و داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی تاب‌آوری خانوارهای کشاورز از طریق پرسش‌نامه و با انجام مصاحبه حضوری جمع‌آوری گردید. بدین منظور، پرسش‌نامه‌های جامعی شامل سؤالات متنوع از جنبه‌های مختلف جمعیت‌شناسی، اقتصادی، زراعی و اکولوژیک تهیه و با مصاحبه رودررو با کشاورزان تکمیل شدند. بسیاری از سؤالات پرسش‌نامه به‌طور مستقیم در محاسبه شاخص تاب‌آوری به‌کار نرفته‌اند، ولی اطلاع از آن‌ها برای شناخت بهتر روش‌های مدیریت بوم‌نظام و نیز ساختن اجزاء و نمایه‌های مرتبط با شاخص تاب‌آوری ضروری بوده است.

پیش از انجام محاسبات مربوط به شاخص تاب‌آوری، پاسخ‌های ذکر شده در پرسش‌نامه‌ها در معرض آزمون روایی[2] قرار گرفتند. هدف از اجرای این آزمون، اطمینان از انسجام و دقت در نتایج جمع‌آوری شده است، به بیان دیگر، آزمون روایی نشان می‌دهد که تا چه میزان بین پاسخ‌های داده شده به سؤالات مرتبط با هم، همبستگی وجود دارد. آلفای کرونباخ[3]، متداول‌ترین آماره برای اطمینان از روایی نتایج است، مقدار این آماره همیشه مثبت بوده و بین صفر و یک قرار دارد و مقادیر ۰/۷ یا بالاتر، نشان‌دهنده روایی مطلوب در پاسخ‌های جمع‌آوری شده است (Tavakol & Dennick, 2011). برای حصول روایی مطلوب، با تکرار آزمون روایی، داده‌هایی که از انسجام کافی برخوردار نبودند، حذف شدند (Wu et al., 2022) و در نهایت، ۸۷ پرسش‌نامه که دقت لازم برای آن‌ها احراز شد (آلفای کرونباخ = ۰/۷۶) در محاسبات ارزیابی تاب‌آوری مورد استفاده قرار گرفتند.

1- Cross sectional
2 Reliability

روش ارزیابی تاب‌آوری

در این پژوهش، شاخص تاب‌آوری براساس روش فائو موسوم به RIMA II[4] محاسبه و تجزیه و تحلیل شد (FAO, 2016). این روش به‌طور اساسی برای ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی خانوارهای کشاورز طراحی شده و برای اجرای آن باید مراحل زیر دنبال شود:

انتخاب اجزاء یا پایه‌های اصلی شکل‌گیری تاب‌آوری: در مطالعه حاضر، پنج جزء اصلی برای توصیف تاب‌آوری انتخاب شدند: دارایی کشاورزی خانوار[5] (Ag-Assets)، ظرفیت سازگاری[6] (Ad-Cap)، تنوع زیستی[7] (BioDiv)، فشرده‌سازی[8] (Intens) و خدمات بوم‌نظام[9] (Eco-Serv).

تعیین نمایه‌های مربوط به هر جزء اصلی: چون اجزاء اصلی به‌صورت یک متغیر قابل‌اندازه‌گیری نیستند، لذا برای توصیف هر یک از آن‌ها از تعدادی نمایه[10] (متغیر) استفاده شد. در جدول ۱، نمایه‌های استفاده شده برای توصیف هر یک از اجزاء تاب آوری ارائه شده است.

استاندارد کردن داده‌ها: بعد از مراحل ۱ (تعیین اجزاء اصلی تاب‌آوری) و ۲ (انتخاب نمایه‌های هر جزء اصلی)، داده‌های مربوط به هر نمایه (متغیر) برای ۸۷ خانوار تحت بررسی از پرسش‌نامه‌ها استخراج شدند.

3-Cronbach’s Alpha
4- Resilience Index Measurement and Analysis
5- Agricultural assets
6-Adaptive capacity
7- Biodiversity
8- Intensification
9- Ecosystem services
10- Indicator

جدول ۱- اجزاء اصلی اندازه‌گیری تاب‌آوری و نمایه‌های استفاده شده برای توصیف هر یک از اجزا

Table 1- The main components for resilience measurement and the corresponding indicators for each component.

اجزاء اصلی **Main components**	ویژگی اجزاء **Component's characteristics**	نمایه‌های توصیف‌کننده **Describing indicators**
Ag-Assets	نشان‌دهنده دارایی‌های مربوط به خانوار کشاورز Indicating agricultural assets of households	سطح زیرکشت Cultivated area تعداد واحدهای دامی Livestock units سطح زیرکشت زعفران[1] Saffron cultivation area
Ad-Cap	نشان‌دهنده ظرفیت سازگاری خانوار به تغییرات اقلیمی و ایجاد ثبات Indicating household adaptation capacity to climate variability and stability	راهکارهای سازگاری با تنش سرما/گرما/خشکی، خشک‌سالی و تعداد منابع درآمد Adaptation methods to cold/heat/water stress, drought and number of income items
BioDiv	نشان‌دهنده میزان استفاده خانوار از مزایای تنوع زیستی Indicating how households use of the benefits of biodiversity	غنا و شاخص شانون گونه‌های زراعی، کشت مخلوط Richness and Shannon index of crop species, intercropping
Intens	نشان‌دهنده شدت فشرده‌سازی در استفاده از نهاده‌های خارجی Indicating the level of intensification and usage of external inputs	سطح مکانیزاسیون Mechanization level مصرف کود شیمیایی Chemical fertilizers مصرف آفت‌کش و علف‌کش‌ها Pesticides and herbicides
Eco-Serv	نشان‌دهنده میزان تقویت و بهره‌برداری از خدمات بوم‌نظام با روش‌های مدیریت Indicating enhancement of ecosystem services by management practices	افزایش ماده آلی خاک Soil organic matter تناوب با بقولات Rotation with legiumes کشاورزی حفاظتی Conversation agriculture مدیریت تلفیقی آفات Integrated pest management تلفیق دامداری و زراعت Mixed (crop + animal) farming

۱- چون سطح زیرکشت زعفران، صرف نظر از سطح زیرکشت کل محصولات همبستگی معنی‌داری با درآمد خانوارها دارد (r=0.52**) و در نتیجه، داشتن مزارع زعفران در کنار سایر فعالیت‌های کشاورزی می تواند در افزایش تاب‌آوری مؤثر باشد، بنابراین به‌عنوان یک نمایه مجزا در نظر گرفته شد.

این نمایه‌ها بسته به ماهیت آن‌ها به سه صورت تعریف می‌شوند (Volkov et al., 2021;Alinovi et al., 2008)، متغیرهای پیوسته[1] مثل سطح زیرکشت که دارای واحد اندازه‌گیری هستند، متغیرهای جهت‌دار[2] که شدت متغیر را از خیلی کم تا خیلی زیاد توصیف می‌کند و در قالب مقیاس پنج نقطه‌ای لایکرت[3] تعریف می‌شوند و متغیرهای ساختگی[4] که بسته به ماهیت نمایه، مقادیر صفر یا یک به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. به‌دلیل تفاوت نوع متغیرها، پیش از انجام محاسبات، کلیه داده‌های مربوط به ۸۷ خانوار استاندارد شدند و عدد استاندارد (نمره $Z^{۵}$) آن‌ها با تفریق مقدار عددی هر متغیر از میانگین و تقسیم آن بر انحراف معیار به‌دست می‌آید، البته روش‌های دیگری نیز برای استاندارد کردن این نوع داده‌ها وجود دارد، ولی عدد استاندارد شده Z رایج‌ترین روش در مطالعات تاب‌آوری و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی است (Gan et al., 2017).

تجمیع نمایه‌های استاندارد شده و محاسبه شاخص تاب‌آوری: برای محاسبه شاخص تاب‌آوری، ابتدا مقادیر استاندارد شده نمایه‌های مربوط به هر یک از پنج جزء اصلی تجمیع شدند (معادله ۲):

$$AC_i = \sum_{k=1}^{n} w_k \cdot I_k \qquad \text{(۲) معادله}$$

که در آن، AC_i: مقدار تجمیع شده نمایه‌های جزء اصلی i ام، I_k: مقدار نمایه kام در آن جزء اصلی و w_k: وزن نمایه k ام است؛ و درنهایت، شاخص تاب‌آوری (R_{index}) که نوعی شاخص مرکب[6] محسوب می‌شود، با تجمیع مقادیر AC_i برای پنج جزء اصلی محاسبه شد (معادله ۳):

$$R_{index} = \sum_{i=1}^{5} w_i \cdot AC_i \qquad \text{(۳) معادله}$$

که در آن، w_i: وزن جزء اصلی i ام است.

تعیین وزن برای نمایه‌ها و اجزاء اصلی: معادله‌های ۱ و ۲ در واقع میانگین‌های موزون شده هستند و تعیین وزن مناسب برای هر نمایه و نیز وزن مربوط به هر جزء اصلی یکی از مهم‌ترین عوامل برای محاسبه انواع شاخص‌های اکولوژیکی از جمله شاخص تاب‌آوری است. ازاین‌رو، محققان روش‌های مختلفی را برای تعیین وزن عناصر در شاخص‌های مرکب ارائه کرده‌اند. یکی از رایج‌ترین و درعین‌حال دقیق‌ترین روش‌ها، تعیین وزن با اجرای روش آماری تحلیل فاکتورهاست[7] که در دستورالعمل RIMA II نیز توصیه شده است. تحلیل فاکتورها نوعی روش چند متغیره آماری مشابه تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) است، این روش ابتدا برای هر یک از پنج جزء اصلی اجرا شد تا وزن نمایه‌ها (w_k در معادله ۲) تعیین شود و در ادامه، امتیازهای تجمیع شده هر جزء (AC_i) مجدداً در معرض تجزیه فاکتورها قرار گرفت تا وزن هر جزء اصلی (w_i در معادله ۳) به‌دست آید، محاسبه وزن براساس نتایج تحلیل فاکتور با استفاده از معادله ۴ انجام شد (Gan et al., 2017):

$$w_i = r_j \cdot \left(\frac{L_{ij}^{2}}{E_j}\right) \qquad \text{(۴) معادله}$$

که در آن، r_j: نسبت واریانس توصیف شده توسط اولین فاکتور (مؤلفه) اصلی، L_{ij}: بار[8] i امین نمایه (یا iامین جزء اصلی) در فاکتور اصلی اول و E_j: مقدار ویژه[9] (مقدار واریانس توصیف شده) به‌وسیله اولین فاکتور اصلی می‌باشند.

برای درک بهتر، مقادیر عددی شاخص تاب‌آوری نرمال‌سازی شدند، در این مطالعه از روش توصیه شده در RIMA II استفاده شد (معادله ۵) تا بدین‌وسیله مقادیر در دامنه بین صفر (حداقل تاب‌آوری) و یک (حداکثر تاب‌آوری) قرار گیرند. با ضرب مقادیر نرمال شده در هر عدد ثابت (برای مثال ۵، ۱۰ یا ۱۰۰) می‌توان دامنه تغییرات شاخص را تنظیم نمود (Moreira et al., 2021).

$$X_n = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \qquad \text{(۵) معادله}$$

که در آن، X_n: مقدار نرمال شده شاخص، X_i: مقدار نرمال نشده، و min و max: حداقل و حداکثر مقدار شاخص هستند.

کلیه محاسبات آماری در اکسل و Minitab ver. 21.0 انجام شد و نمودارها نیز در محیط اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

گروه‌بندی جمعیت تحت بررسی

خانوارهای کشاورز تحت بررسی از نظر میزان درآمد و متغیرهای اصلی مرتبط با آن دامنه تغییرات وسیعی داشتند؛ بنابراین پیش از

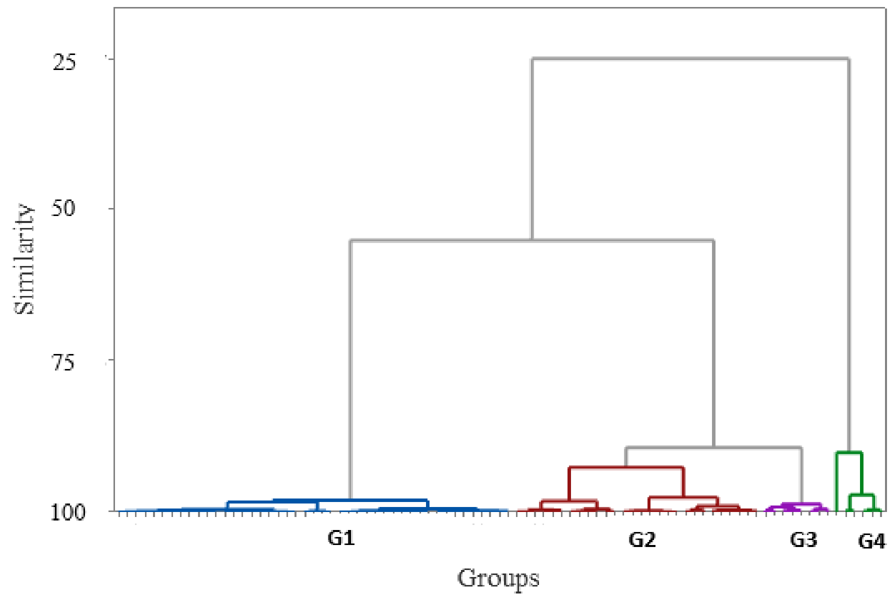
1- Continuous variables
2- Ordinal variables
3- Likert's 5-point scale
4- Dummy variables
5- Z score
6- Composite index
7- Factor analysis
8- Loading
9- Eigen value

محاسبه شاخص تاب‌آوری، ۸۷ خانوار منتخب در گروه‌هایی دسته‌بندی شدند که بیشترین میزان شباهت را در این زمینه داشتند. بدین منظور، ابتدا اطلاعات مربوط به سه متغیر تعیین‌کننده میزان درآمد (تعداد واحدهای دامی، سطح زیرکشت محصولات زراعی و سطح زیرکشت زعفران) استفاده شد تا داده‌ها بتوانند معنی‌دارترین و همگن‌ترین گروه‌های خانوار را شناسایی کنند. سپس، متغیرهای فوق براساس ضرایب همبستگی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که درآمد کشاورزان با دو متغیر یعنی سطح زیرکشت محصولات زراعی و تعداد واحدهای دامی هر خانوار همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۲). به‌علاوه اغلب مواردی وجود داشت که علی‌رغم پایین بودن سطح زیرکشت محصولات زراعی، درآمد کشاورزان قابل‌توجه بود و این درآمد از کشت سطوح کوچک زعفران حاصل می‌شد، بنابراین سطح زیرکشت زعفران نیز به‌عنوان یک متغیر در تعیین درآمد کشاورزان تعریف شد که همبستگی بالایی (r=0.52) با درآمد نشان داد (جدول ۲).

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین درآمد محصولات زراعی و دامی با سطح زیرکشت و تعداد واحد دامی هر خانوار (n=87)

Table 2- Pearson's correlation coefficients between crop and livestock income with cultivated area and the number of livestock units per household (n=87)

	درآمد (محصولات زراعی) Income (crops)	درآمد (دامداری) Income (animals)
واحد دامی Livestock units	-	0.629**
سطح زیرکشت زعفران Saffron cultivated area	0.525**	-
سطح زیرکشت محصولات زراعی Crop cultivated area	0.434**	-



شکل ۲- دندروگرام تجزیه کلاستر روی ۸۷ خانوار منتخب براساس سه متغیر تعیین‌کننده درآمد

Fig. 2- Dendrogram of cluster analysis on 87 selected households based on 3 income determining variables

آنالیز کلاستر به‌روش وارد[1] و خوشه‌بندی براساس ۷۵ درصد تشابه انجام شده است. تنها زراعت (G1)، مدیریت تلفیقی در سطح متوسط (G2)، تنها دام‌پروری (G3)، مدیریت تلفیقی در سطح بالا (G4)

Cluster analysis was done by Ward method and clustering based on 75% similarity. Agriculture only (G_1), medium level integrated management (G_2), animal husbandry only (G_3), high level integrated management (G_4)

1- Ward

گروه‌بندی خانوارهای کشاورز، روش رایجی برای ایجاد گروه‌های مشابه از نظر نوع معیشت محسوب می‌شود و در مطالعات زیادی جهت ارزیابی میزان تاب‌آوری اکولوژیکی و اقتصادی به‌کار برده شده است. بری و همکاران (Berry et al., 2022) برای ارزیابی آسیب‌پذیری اقتصادی و شاخص تاب‌آوری کشاورزی در انگلستان و ویلز، خانوارهای کشاورز را گروه‌بندی کردند. خوشه‌بندی خانوارها در مطالعات مربوط به ارزیابی تاب‌آوری، در هند (Paramesh et al., 2021) آفریقای جنوبی (Olalekan et al, 2023)، آمریکای مرکزی و حوزه کارائیب (Sibrian et al., 2021) و برخی مناطق دیگر جهان نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج آنالیز خوشه‌ای (شکل ۲) نشان داد که ۸۷ خانوار منتخب براساس سه متغیر (تعداد واحدهای دامی، سطح زیرکشت محصولات زراعی و نیز سطح زیرکشت زعفران) در چهار گروه (G_1-G_4) گروه‌بندی شدند. مشخصات این چهار گروه در جدول ۳ ارائه شده است. واحد دامی به‌منظور بیان انواع و سنین مختلف دام و مقایسه و تبدیل آن‌ها به یک واحد به‌کار می‌رود و معمولاً براساس وزن زنده و وزن متابولیکی دام غالب در هر منطقه تعیین می‌شود. در ایران، گوسفند دام غالب بوده و به‌عنوان یک واحد دامی و گاو به‌عنوان چهار واحد دامی در نظر گرفته می‌شود (Mansourikhah et al., 2022). با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، گروه اول (G_1) شامل خانوارهایی بود که تنها به کشت محصولات زراعی اشتغال داشتند و تعداد واحدهای دامی آن‌ها اندک بود (میانگین ۱۵ واحد دامی)، این گروه ۵۱/۷ درصد از کل خانوارهای تحت بررسی را شامل شدند. گروه دوم (G_2) که ۳۲/۲ درصد از خانوارها در آن قرار گرفتند، به‌صورت تلفیقی اداره می‌شد و سطح زیرکشت محصولات زراعی و تعداد واحدهای دامی هر دو، مقدار متوسطی داشتند. گروه سوم (G_3) با میانگین ۵۲۴ واحد دامی و ۵/۷ هکتار اراضی زراعی، خانوارهای بودند که تنها به دامداری اشتغال داشتند و ۶/۸ درصد کل خانوارها را در برگرفتند. گروه چهارم کشاورزان دامدار بودند (G_4) که ۹/۲ درصد از خانوارها را شامل شدند و مشابه G_3 به‌صورت تلفیقی اداره می‌شد، با این تفاوت که خانوارهای این گروه دارای اراضی بزرگ و تعداد زیادی واحد دامی بودند (جدول ۳). بر این اساس، ۸۷ خانوار مورد مطالعه در دو گروه با مدیریت تلفیقی (G_2 و G_4) و دو گروه با مدیریت تنها زراعت (G_1) یا تنها دامداری (G_2) قرار گرفتند.

جدول ۳- مشخصات گروه‌های چهارگانه براساس میانگین سطح زیرکشت محصولات زراعی، زعفران و تعداد واحدهای دامی

Table 3- Characteristics of the four household groups based on cultivated area of crops and saffron and number of livestock units

گروه‌های خانوار Groups	G_1	G_2	G_3	G_4
میانگین سطح زیرکشت محصولات زراعی Mean cropping area (ha)	24.1	3.40	5.7	7.12
میانگین تعداد واحد دامی Mean animal unit	15	247	524	366
میانگین سطح زیرکشت زعفران Mean saffron area (ha)	1.17	27.3	0.9	2.37
فراوانی Frequency (%)	51.7	32.2	6.9	9.2

توزیع فراوانی مؤلفه‌های تاب‌آوری بین گروه‌ها

در شکل ۳، توزیع فراوانی امتیاز نرمال شده هر یک از پنج مؤلفه تاب‌آوری برای چهار گروه خانوار نشان داده شده است. یافته‌های مطالعه حاکی از آن است که بیش از ۵۰ درصد خانوارهایی که معیشت آن‌ها تنها زراعت بود (G_1) در مؤلفه دارایی امتیاز ۰/۲۵ یا کمتر داشتند، در گروه G_2 یعنی خانوارهای با مدیریت تلفیقی زراعت و دامداری در سطح کوچک، توزیع امتیاز دارایی در محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار داشت و ۵۰ درصد خانوارها امتیاز بیشتر از ۰/۵ کسب کردند. در گروه‌های G_3 (تنها دامداری) و G_4 (تلفیق زراعت و دامداری در سطح بزرگ)، امتیاز مؤلفه دارایی به‌مراتب بیشتر از دو گروه اول بود و ۵۰ درصد از خانوارهای این دو گروه به امتیاز بالاتر از ۰/۷ رسیدند.

در رابطه با مؤلفه ظرفیت سازگاری، بالاترین امتیاز در گروه G_2 و G_1 به‌دست آمد و ۵۰ درصد خانوارهای این گروه‌ها، امتیاز ۰/۶ یا بالاتر داشتند، گروه G_3 کمترین ظرفیت سازگاری را داشت و امتیاز این مؤلفه در ۵۰ درصد خانوارهای این گروه کمتر از ۰/۳ بود، در گروه G_4 امتیاز این مؤلفه بیشتر از گروه G_3 بود، البته ۷۵ درصد خانوارهای این گروه امتیازی کمتر از ۰/۵ داشتند (شکل ۳).

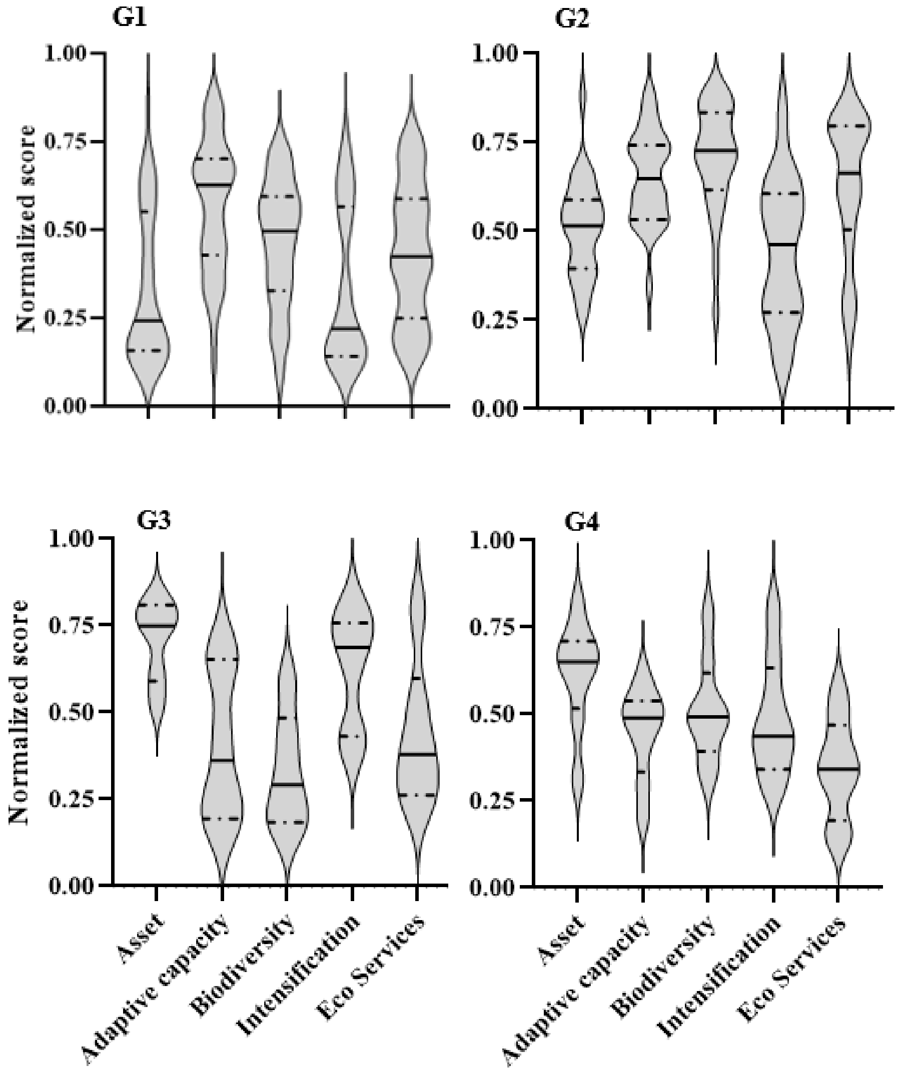
بالاترین امتیاز تنوع زیستی در گروه G_2 مشاهده شد و ۷۵ درصد خانوارهای این گروه به امتیاز بالاتر از ۰/۶ رسیدند (شکل ۳)، درحالی‌که امتیاز این مؤلفه در گروه G_3 در پایین‌ترین مقدار بود و ۷۵ درصد خانوارها، امتیازی کمتر از ۰/۵ داشتند. در گروه‌های G_1 و G_4، فراوانی امتیاز تنوع زیستی توزیع یکنواختی داشت و در هر دو گروه، ۵۰ درصد خانوارها به امتیاز بالاتر از ۰/۵ رسیدند.

فشره‌سازی در خانوارهای با معیشت مبتنی بر دامداری (G_3) بیشترین سطح و در معیشت مبتنی بر زراعت (G_1) کمترین سطح را داشت، به‌طوری‌که ۵۰ درصد از خانوارهای این دو گروه به‌ترتیب امتیاز بالاتر از ۰/۷ و کمتر از ۰/۲۵ داشتند. توزیع فراوانی امتیاز این مؤلفه در گروه‌های G_2 و G_4 تقریباً مشابه بود و ۷۵ درصد از خانوارهای این گروه‌ها امتیازی کمتر از ۰/۶ کسب کردند (شکل ۳).

توزیع فراوانی میزان بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظامی بین چهار گروه خانوار متفاوت بود و بالاترین امتیاز این مؤلفه در گروه G_2 مشاهده شد، به‌طوری‌که ۷۵ درصد خانوارهای این گروه امتیازی بالاتر از ۰/۵ داشتند. در مقابل، گروه G_4 کمترین امتیاز را کسب کرد و امتیاز ۷۵ درصد از خانوارها در این گروه کمتر از ۰/۵ بود. توزیع فراوانی امتیاز این مؤلفه در گروه‌های G_1 و G_3 تقریباً مشابه بود و در هر دو گروه، ۵۰ درصد خانوارها امتیازی کمتر از ۰/۴ داشتند (شکل ۳).

مؤلفه‌هایی که در ارزیابی تاب‌آوری مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً ابعاد اقتصادی تاب‌آوری را پوشش می‌دهند، برای مثال در مطالعه تاب‌آوری اقتصادی نظام‌های کشاورزی ایران (Shakeri Bostanabad et al., 2012) از هست شاخص اقتصادی استفاده شد که هر یک توسط تعدادی نمایه توصیف می‌شدند. لیث و همکاران (Leis et al., 2022) در پژوهشی، تاب‌آوری کشاورزان میاندوآب را براساس شش مؤلفه اقتصادی مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تاب‌آوری نوار غزه و کرانه باختری برای امنیت غذایی (Alinovi et al., 2008) از روش RIMA استفاده شد و تاب‌آوری براساس شش مؤلفه مورد سنجش قرار گرفت. تاب‌آوری اقتصادی کشاورزان در کشور لیتوانی نیز با سه مؤلفه که هر یک مشتمل بر تعدادی نمایه بودند، ارزیابی شد (Volkov et al., 2021). این شواهد نشان می‌دهد که محققان برای ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی، مؤلفه‌های متفاوتی را مورد استفاده قرار می‌دهند که معمولاً براساس اهداف مطالعه انتخاب می‌شوند. البته باید توجه داشت که تاب‌آوری نوعی متغیر پنهان[1] است و به‌طور مستقیم قابل‌اندازه‌گیری نیست، لذا برای کمّی کردن آن باید از نمایه‌هایی استفاده کرد که در عمل قابل اندازه‌گیری باشند. در روش RIMA (FAO, 2016 a,b)، تاب‌آوری دارای پنج مؤلفه شامل دارایی، ظرفیت سازگاری، دسترسی به خدمات عمومی، شبکه امنیت اجتماعی و درآمد خانوارهای روستایی است که البته این مؤلفه‌ها خود متغیرهای پنهان هستند و باید توسط تعدادی نمایه سنجیده شوند. متغیرهای تاب‌آوری در RIMA همگی اقتصادی هستند، البته محققان (Alinovi et al., 2010; Zampieri et al., 2020) بیان داشتند که این روش انعطاف‌پذیر است و می‌توان مؤلفه‌ها و نمایه‌های توصیف‌کننده تاب‌آوری را بسته به اهداف پژوهش تغییر داد. برای مثال، در ارزیابی تاب‌آوری کشاورزان کشور نیکاراگوئه (Ciani & Romano, 2014) علاوه‌بر پنج مؤلفه RIMA، چهار مؤلفه دیگر نیز برای سنجش تاب‌آوری تعریف شد که همگی اقتصادی بودند. تاب‌آوری کشاورزان انگلستان و ولز نیز با روش RIMA با پنج متغیر متفاوت شامل ثبات مالی خانوارها، رونق اقتصادی، تنوع منابع درآمد، تنوع محصولات زراعی و ثبات مورد بررسی قرار گرفت (Berry et al., 2022). در مطالعه حاضر، تاب‌آوری با پنج مؤلفه سنجیده شد که دو مؤلفه آن (دارایی و ظرفیت سازگاری خانوارها) مشابه RIMA انتخاب شدند و سه مؤلفه دیگر (فشرده‌سازی، تنوع زیستی و بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظام) با این هدف تعریف شدند که ابعاد اکولوژیکی نیز در شاخص نهایی تاب‌آوری گنجانده شود و توزیع فراوانی آن‌ها بین خانوارهای کشاورز بررسی گردید.

1- Hidden variable



شکل ۳- نمودار ویولنی توزیع فراوانی امتیاز مؤلفه‌های تاب‌آوری برای چهار گروه خانوار (G_1-G_4)

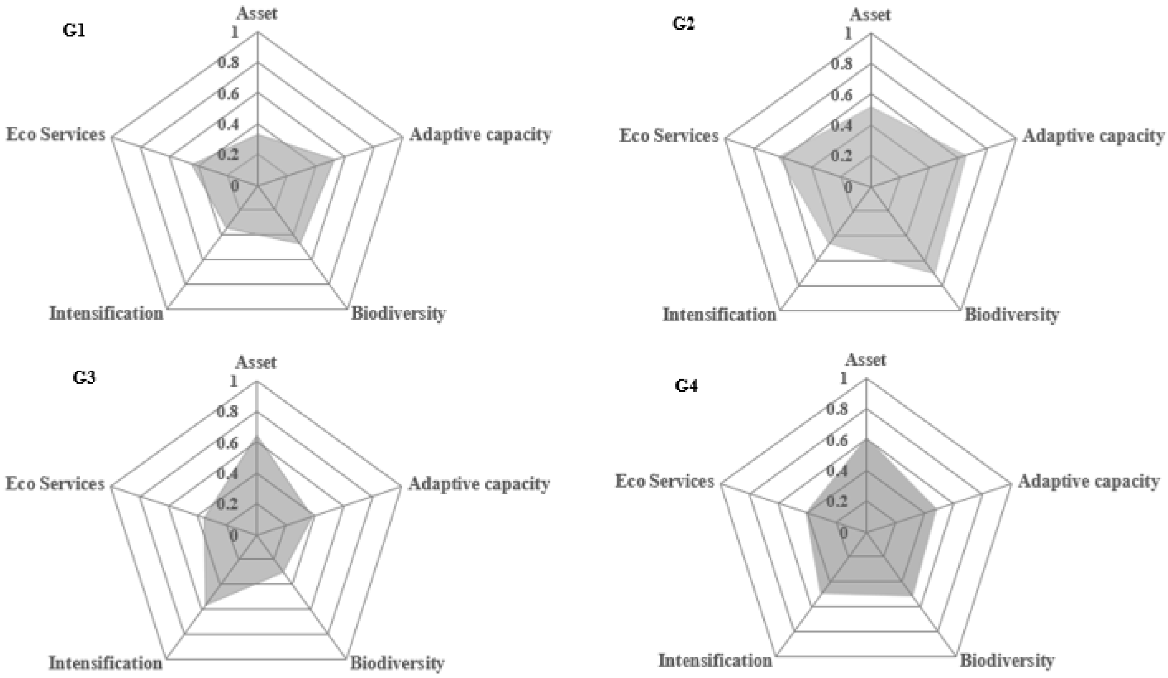
Fig. 3- Violin plot showing frequency distribution of normalized score of each resilience component for 4 household groups (G_1-G_4)

امتیاز هر مؤلفه در مقیاس صفر تا یک نرمال شده، متغیرهای استفاده شده برای محاسبه امتیاز هر مؤلفه در جدول ۱ آمده است. در نمودار ویولنی خط ممتد نشان‌دهنده میانه و خطوط مقطع چارک (۲۵ درصد) پایین و بالای توزیع را مشخص می‌کنند.

Scores are normalized in 0-1 scale, variables used in calculation of score for each component are presented in Table 1. In violin plot solid line shows median and broken lines show upper and lower quartiles.

در شکل ۴، میانگین امتیاز پنج مؤلفه تاب‌آوری برای هر گروه خانوار نشان داده شده است. براساس این نتایج، در بوم‌نظام‌های کشاورزی تلفیقی که معیشت خانوارها با تلفیق زراعت و دامداری (گروه‌های G_2 و G_4) تأمین می‌شد، امتیاز اغلب مؤلفه‌های تاب‌آوری بالاتر از بوم‌نظام‌های غیر تلفیقی یعنی تنها زراعت (G_1) یا تنها دامداری (G_3) بود. میانگین امتیاز دارایی در گروه‌های G_3 (دامداری‌های بزرگ) و G_4 (تلفیق زراعت و دامداری هر دو در سطح بزرگ) بالاتر از دو گروه دیگر بود، به‌علاوه این دو گروه سطح بالاتری از فشرده‌سازی را نیز به‌کار می‌برند که موجب امتیاز بالای این مؤلفه به‌ویژه در گروه G_3 شد. در مقابل، میانگین امتیاز تنوع زیستی، ظرفیت سازگاری و بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظامی در گروه تلفیقی G_2 در بیشترین مقدار خود بود و گروه G_1 (تنها زراعت)

کمترین میانگین را در مؤلفه‌های دارایی و فشرده‌سازی داشت، درحالی‌که میانگین امتیاز این گروه از نظر ظرفیت سازگاری، تنوع زیستی و استفاده از خدمات بوم‌نظامی بالاتر از گروه G_3 (تنها دامداری) بود (شکل ۴).



شکل ٤- میانگین امتیاز پنج مؤلفه تاب‌آوری محاسبه‌شده برای چهار گروه خانوار (G_1-G_4)

Fig. 4- Mean score for 5 resilience components calculated for 4 household groups (G_1-G_4)

امتیاز هر مؤلفه در مقیاس صفر تا یک نرمال شده است.

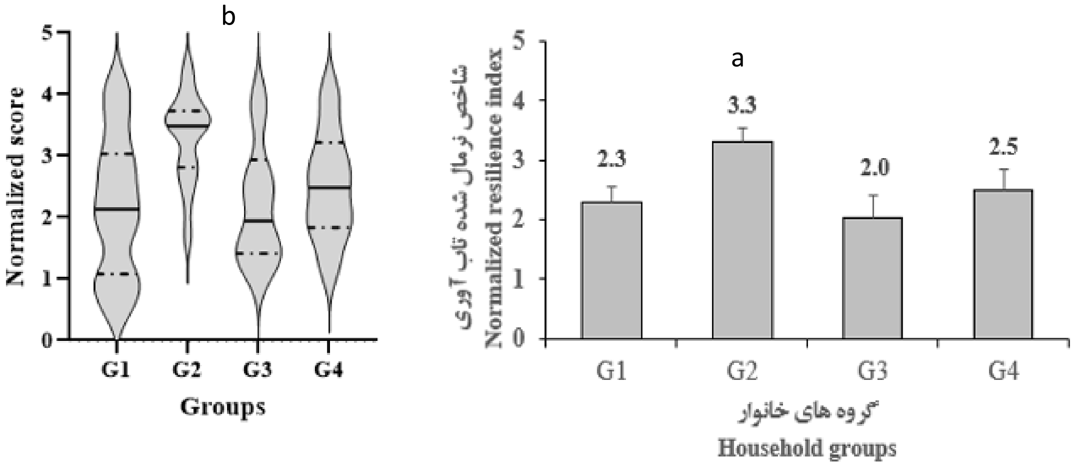
Scores are normalized in 0-1 scale.

شاخص تاب‌آوری و مقایسه آن بین گروه‌های خانوار

شاخص مرکب تاب‌آوری با تجمیع امتیاز پنج مؤلفه بعد از وزن‌دهی به آن‌ها در مقیاس یک تا پنج محاسبه شد. لازم به ذکر است که هنگام تجمیع امتیازها برای ساختن شاخص‌های مرکب، باید اطمینان یافت که مؤلفه‌ها از یکدیگر مستقل هستند و هم‌خطی[1] بین آن‌ها وجود ندارد (Berry et al., 2022;Gan et al., 2017). در تحقیق حاضر، ضرایب همبستگی بین پنج مؤلفه بی‌معنی و در محدوده ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ قرار داشت که مؤید عدم وجود هم‌خطی بین آن‌هاست. بالاترین میانگین شاخص تاب‌آوری (R_{index} = 3.3) برای گروه (G_2) به‌دست آمد (شکل ۵a) که در آن، معیشت خانوارها با تلفیق زراعت و دامداری در سطح کوچک تا متوسط مدیریت می‌شد. در شکل ۵b، توزیع فراوانی مقدار شاخص تاب‌آوری نیز به‌صورت نمودار ویولنی ارائه شده است که نشان می‌دهد در گروه G_2، امتیاز تاب‌آوری ۷۵ درصد از خانوارها بالاتر از ۲/۹ بود. در مقابل، خانوارهای گروه G_3 (تنها دامداری) کمترین میزان تاب‌آوری را داشتند (R_{index} = 2.3) و امتیاز تاب‌آوری ۷۵ درصد از خانوارهای این گروه کمتر از سه بود (شکل ۵b).

نتایج تاب‌آوری به تفکیک گروه‌ها (شکل ۵a) نشان داد که میانگین شاخص تاب‌آوری برای گروه G_1 (R_{index} = 2.3) بود و در نمودار ویولنی مربوطه، امتیاز تاب‌آوری ۷۵ درصد از خانوارهای این گروه کمتر از سه بود. گروه G^4 دارای میانگین شاخص تاب‌آوری (R_{index} = 2.5) بود و امتیاز تاب‌آوری ۷۵ درصد از خانوارهای این گروه که در آن معیشت خانوارها با تلفیق زراعت و دامداری در سطح بالا مدیریت می‌شد، کمتر از ۳/۳ بود.

1- Collinearity



شکل ۵- a) میانگین شاخص مرکب تاب‌آوری برای چهار گروه خانوار (G_1-G_4) که در مقیاس صفر تا پنج نرمال شده است، میله‌های عمودی انحراف معیار میانگین‌ها را نشان می‌دهد. b) نمودار ویولنی توزیع فراوانی شاخص مرکب تاب‌آوری برای چهار گروه خانوار، خط ممتد نشان‌دهنده میانه و خطوط مقطع چارک (۲۵ درصد پایین و بالای توزیع را مشخص می‌کنند

Fig. 5- a) Mean values of composite resilience index for 4 household groups (G_1-G_4) normalized in 0-5 scale, bars are standard error of means. b) Violin plot showing frequency distribution of composite resilience index for 4 household groups (G_1-G_4), the index is normalized in 0-5 scale, in violin plot solid line shows median and broken lines show upper and lower quartiles

یافته‌های پژوهش نشان داد که خانوارهایی که از مدیریت تلفیقی زراعت و دامداری بهره می‌بردند در مقایسه با خانوارهایی با مدیریت منفرد (تنها دامداری یا تنها زراعت) از تاب‌آوری بیشتری برخوردار بودند و این برتری، زمانی بارزتر شد که نظام تلفیقی در سطوح کوچک مورد استفاده قرار گرفت. به بیان دیگر، حتی در نظام‌های تلفیقی نیز بزرگ شدن مساحت اراضی یا زیاد شدن تعداد واحدهای دامی تحت مالکیت خانوارها، باعث کاهش تاب‌آوری خواهد شد.

تاب‌آوری بیشتر در بوم‌نظام‌های دارای انواعی از مدیریت تلفیقی به‌ویژه تلفیق زراعت و دامداری توسط محققان مختلف گزارش شده است. برای مثال، در مطالعه‌ای در کشور برزیل (Peterson et al., 2020)، تاب‌آوری نظام‌های تلفیقی دام و گیاه زراعی و نظام‌های با مدیریت منفرد در بازه زمانی ۲۰۶۰-۲۰۲۰ به‌وسیله مدل APSIM شبیه‌سازی شد، نتایج نشان داد که در ۹۵ درصد از سال‌های شبیه‌سازی شده، نظام‌های تلفیقی تاب‌آوری بیشتری داشتند. در مطالعه دیگری در هندوستان (Paramesh et al., 2022) گزارش شد که نظام‌های تلفیقی کشاورزی در مقایسه با نظام‌های غیر تلفیقی، ۲۵۶ درصد سودآوری و ۱۴۳ درصد اشتغال‌زایی بیشتری داشتند و به‌علاوه تاب‌آوری آن‌ها به تغییرات اقلیمی نیز به‌طور قابل‌توجهی بیشتر بود. شواهد پژوهشی حاکی از این است که بالابودن تاب‌آوری در نظام‌های تلفیقی عمدتاً از طریق تنوع زیستی بیشتر در این نظام‌ها حاصل می‌شود (Szymczak et al., 2020; Paramesh et al., 2022; López Rodríguez et al., 2024). یافته‌های این تحقیق نیز نشان داد که خانوارهای گروه G_2 که بالاترین امتیاز تنوع زیستی را بین چهار گروه داشتند (شکل ۴)، دارای بیشترین امتیاز تاب‌آوری بودند (شکل ۵). به نظر می‌رسد که تنوع زیستی از طریق بهبود ظرفیت سازگاری (Szymczak et al., Paramesh et al., 2022; 2020; Abdollahzadeh et al., 2023) و ارتقاء سطح خدمات بوم‌نظامی (Varyvoda et al., 2022;Oliver et al., 2015) باعث افزایش تاب‌آوری خانوارهای روستایی می‌شود. در مقابل، فشرده‌سازی بوم‌نظام‌های زراعی از طریق مصرف نهاده‌های خارجی به‌جای بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظامی و کاهش ظرفیت سازگاری بوم‌نظام به‌دلیل وابستگی به نهاده‌های خارجی، تاب‌آوری بوم‌نظام‌ها را کاهش خواهد داد (Franzluebbers et al., 2023;Oliver et al., 2015). این وضعیت در خانوارهای گروه G_3 به‌وضوح مشهود بود (شکل ۴) و حتی در گروه تلفیقی G_4 نیز تا حدودی بروز کرد. به‌علاوه گزارش شده است که مزارع کوچک در مقایسه با اراضی زراعی بزرگ از تنوع

زیستی بیشتری برخوردار بوده و شدت فشرده‌سازی در آن‌ها کمتر است (Salek et al., 2018;Fahrig et al., 2015) و در نتیجه، انتظار می‌رود که تاب‌آوری خانوارهایی که مزارع کوچک‌تری دارند، بیشتر باشد، نظیر خانوارهای گروه G_2 در مقایسه با گروه G_4 (شکل‌های ۴ و ۵).

بررسی رابطه شاخص تاب‌آوری و مؤلفه‌های آن

باوجودی‌که بین مؤلفه‌های تاب‌آوری همبستگی معنی‌داری وجود نداشت، ولی بین این پنج مؤلفه و شاخص مرکب تاب‌آوری، رابطه رگرسیون معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۶) بدین‌صورت که رابطه بین شاخص تاب‌آوری و دارایی خانوارها، ظرفیت سازگاری، تنوع زیستی و میزان بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظام مثبت، ولی با شدت فشرده‌سازی منفی بود.

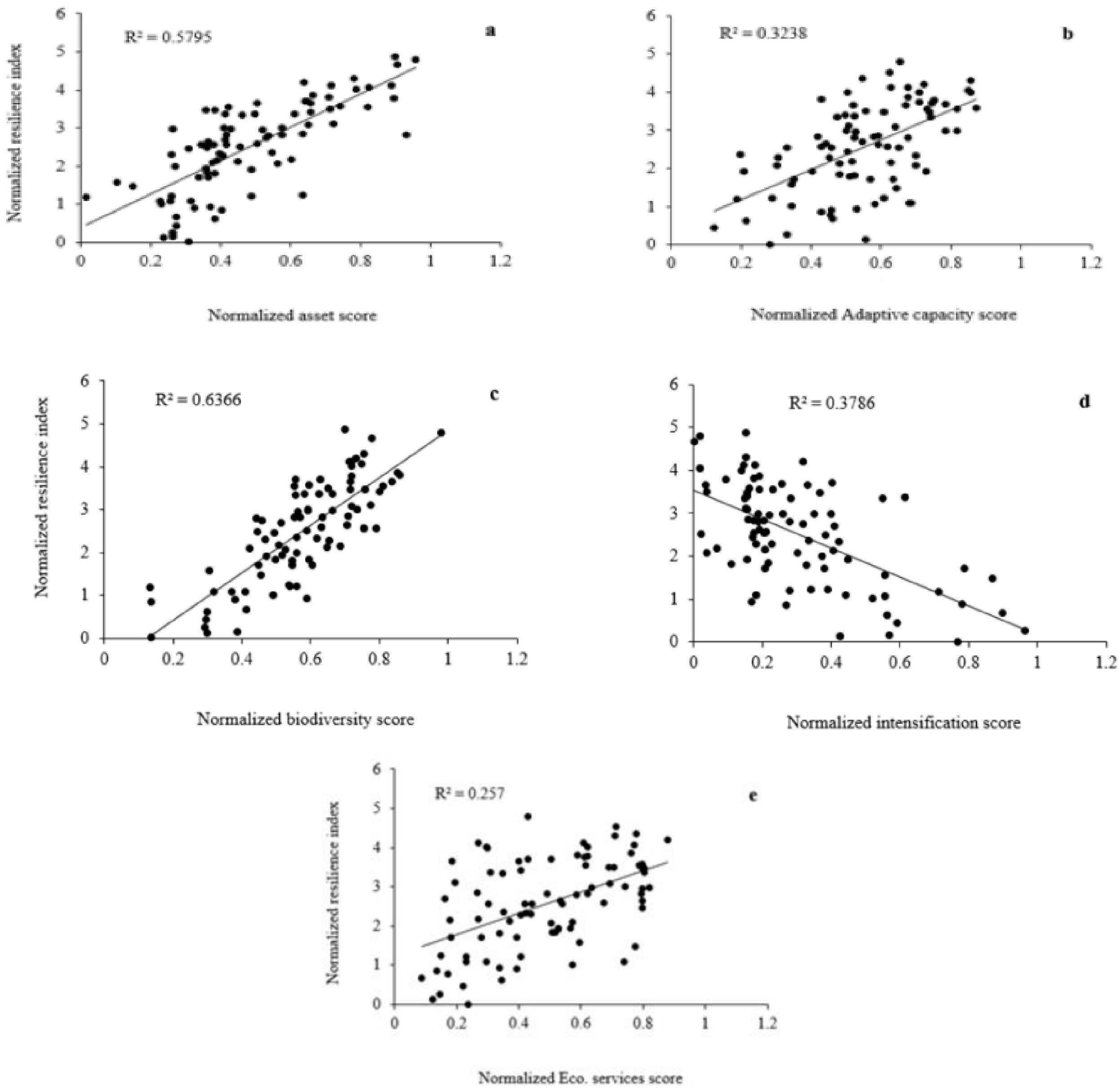
رابطه مثبت بین دارایی و تاب‌آوری (شکل ۶a) در همه مطالعاتی که تاب‌آوری اقتصادی خانوارهای روستایی را بررسی کرده‌اند، گزارش شده است. برای مثال، در ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی کشاورزان در نیجریه که با روش RIMA انجام شد (Gambo Boukary et al., 2016)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین شاخص تاب‌آوری و مؤلفه‌های دارایی و شبکه امنیت اجتماعی به‌دست آمد. این محققان اظهار داشتند که برای تقویت تاب‌آوری خانوارها در برابر ناامنی غذایی، به افزایش کمک به خانوارها از طریق شبکه‌های امنیت اجتماعی و جمع‌آوری منابع بیشتر برای بالا بردن دارایی‌های آن‌ها نیاز است. نتایج مشابهی در مورد تأثیر مثبت دارایی بر تاب‌آوری خانوارها در کنیا (Alinovi et al., 2010)، نیکاراگوئه (Ciani et al., 2014)، هند (Paramesh et al., 2022) و بنگلادش (Szabo 2015,) نیز گزارش شده است. البته باید توجه داشت که تاب‌آوری با نوعی شاخص مرکب سنجیده می‌شود که دارایی، یکی از مؤلفه‌های آن است؛ برای مثال در تحقیق حاضر، خانوارهایی که تنها به دامداری مشغول بودند (G_3)، همچنین خانوارهایی با مدیریت تلفیقی در سطح بزرگ (G_4)، از میزان دارایی بیشتری نسبت به دو گروه دیگر یعنی تنها زراعت (G_1) و خانوارهایی با معیشت تلفیقی در سطح متوسط (G_2) برخوردار بودند، ولی این برتری الزاماً منجر به افزایش میزان تاب‌آوری در این گروه‌ها نخواهد شد، زیرا اثر مستقیم یا غیرمستقیم سایر مؤلفه‌ها می‌توانند شاخص تاب‌آوری را علی‌رغم بالا بودن دارایی خانوار کاهش دهد.

نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش ظرفیت سازگاری، میزان تاب‌آوری خانوارهای روستایی نیز افزایش می‌یابد (شکل ۶b)، البته ضریب همبستگی بین این مؤلفه با تاب‌آوری، کمتر از دارایی خانوارها بود و تنها ۳۲ درصد از تغییرات شاخص تاب‌آوری را توصیف کرد. در مطالعات اخیر، تأثیر مثبت ظرفیت سازگاری بر میزان تاب‌آوری توسط محققان تأیید شده است (Renard & Tilman, 2019; Zhang et al., 2019; Kahiluoto et al., 2019) به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که تاب‌آوری بوم‌نظام‌های زراعی را می‌توان با افزایش سطح سازگاری و مدیریت، یعنی با انتخاب گونه‌های مقاوم، مدیریت مناسب خاک، آب، مواد غذایی، آفات و بیماری‌ها افزایش داد.

(Macholdt et al., 2019; Olesen et al., 2011; Peltonen-Sainio et al., 2009; Zhang et al., 2015)

وجود رابطه معنی‌دار و مثبت بین تنوع زیستی و تاب‌آوری (شکل ۶c) دور از انتظار نیست، به‌علاوه تنوع زیستی در بین پنج مؤلفه، بالاترین همبستگی را با شاخص مرکب تاب‌آوری داشت، به بیان دیگر خانوارهایی که از تنوع زیستی (ساختاری و کارکردی) بالاتری برخوردار باشند، تاب‌آوری بیشتری در مقابل تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی خواهند داشت (Brenda, 2011; Oliver et al., 2015). در همین ارتباط گزارش شده است که کاهش تاب‌آوری نظام‌های تولید گندم اروپا، بیش از هر عاملی به‌دلیل حذف تدریجی تنوع زیستی از این مزارع است (Kahiluoto et al., 2019). در مطالعه‌ای در کشور انگلستان که به‌روش RIMA انجام شد (Berry et al., 2022)، تنوع زیستی محصولات زراعی تأثیر مثبت و قابل توجهی بر تاب‌آوری خانوارهای کشاورز داشت.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که میزان تنوع زیستی در خانوارهایی با معیشت مبتنی بر تلفیق زراعت و دامداری در سطح متوسط (G_2) به‌دلیل تأثیر کشاورزی تلفیقی در بالاترین مقدار نسبت به گروه‌های قرار داشت و کمترین میزان این مؤلفه مربوط به خانوارهای متکی به دامداری (G_3) بود، به عبارتی نظام‌های تلفیقی از تنوع زیستی بالاتری برخوردارند و همین امر منجر به افزایش میزان تاب‌آوری خانوارها می‌شود (Paramesh et al., 2022). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های سایر محققان (Gil et al., 2017; Peterson et al, 2020; Franzluebbers et al., 2023) در مورد بالا بودن تاب‌آوری خانوارها در نظام‌های تلفیقی و به‌ویژه تلفیق زراعت و دامداری مطابقت دارد.



شکل ٦- رابطه بین شاخص مرکب نرمال شده تاب‌آوری با هر یک از مؤلفه‌های تاب‌آوری

Fig. 6- Relationship between normalized resilience index and components of resilience

مقادیر ضرایب همبستگی در مورد نمودارهای a تا e معنی‌دار است (p<0.05; n=87)

Correlation coefficients in panels a-e are significant (p<0.05; n=87).

در بین مؤلفه‌های مورد بررسی، فشرده‌سازی، تنها مؤلفه‌ای بود که رابطه معکوس و معنی‌داری با شاخص تاب‌آوری خانوارها داشت (شکل ۶d)، به‌طوری‌که در خانوارهایی که متکی به دامداری بودند (G_3)، به‌دلیل وابستگی زیاد به نهاده‌های دامی یا به عبارت دیگر، فشرده‌سازی بوم‌نظام، میزان تاب‌آوری به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. از طرفی، میزان این مؤلفه در خانوارهایی که تنها به زراعت مشغول بودند (G_1)، در کمترین مقدار خود نسبت به گروه‌های دیگر بود. همان‌طورکه گفته شد، خانوارهایی با معیشت متکی به کشاورزی تلفیقی (گروه G_2 و G_4) از طریق کاهش مصرف نهاده‌های خارجی و اتکا به نهاده‌های درون مزرعه، از فشرده‌سازی کمتری و در نتیجه، از

تاب‌آوری بالاتری برخوردارند و برعکس، در گروه G_3 به‌دلیل صرف هزینه‌های بیشتر برای تهیه نهاده‌های ورودی، میزان فشرده‌سازی بالاتر بود و در نتیجه، تاب‌آوری در این گروه کاهش یافت.

میزان بهره‌گیری خانوارها از خدمات بوم‌نظام با میزان تاب‌آوری آن‌ها رابطه‌ای مستقیم داشت (شکل ۶e)، به‌طوری‌که با افزایش ماده آلی خاک، تناوب با بقولات، کشاورزی حفاظتی، مدیریت تلفیقی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز (یعنی نمایه‌هایی که برای کمّی‌کردن خدمات بوم‌نظامی مورد استفاده قرار گرفتند) تاب‌آوری خانوارها بهبود یافت. میزان این مؤلفه در کشاورزانی که دامداری را همراه با زراعت به‌صورت تلفیقی انجام می‌دهند، یعنی گروه دوم (G_2)، در بالاترین مقدار قرار داشت، بنابراین این گروه از کشاورزان در مواجهه با تغییرات محیطی و اقلیمی می‌توانند تصمیمات و راهکارهای مدیریتی صحیح و به‌موقع اتخاذ کرده و از این طریق تاب‌آوری را افزایش دهند، درحالی‌که کمترین میزان این مؤلفه مربوط به خانوارهایی بود که تنها متکی به زراعت بودند (G_1).

جیل و همکاران (Gil et al., 2017) با ارزیابی تاب‌آوری نظام‌های تلفیقی زراعت و دامداری در مقابل تغییرات اقلیمی با تأکید بر روابط هم‌افزایی بین عناصر گیاهی و دامی برای تقویت فرآیندهای حیاتی بوم‌نظام کشاورزی بیان کردند که سیستم‌های کشاورزی تلفیقی در برابر تغییرات شرایط محیطی و اقلیمی انعطاف‌پذیری بیشتری را از خود نشان می‌دهند.

به‌طور کلی، با مقایسه تأثیر مؤلفه‌های مورد نظر بر میزان تغییرات تاب‌آوری مشاهده شد که به‌ترتیب مؤلفه‌های تنوع زیستی، دارایی، ظرفیت سازگاری و خدمات بوم‌نظام بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش شاخص تاب‌آوری در خانوارهای کشاورز داشتند و مؤلفه فشرده‌سازی به‌تنهایی رابطه معکوسی با شاخص مذکور دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که دو گروه کشاورزان دامدار با نظام تلفیقی زراعت و دامداری به‌ترتیب در دو سطح متوسط و بزرگ (G_4 و G_2)، تاب‌آوری بالاتری نسبت به دو گروه دیگر که تنها به زراعت و یا دامداری مشغول بودند (G_1 و G_3)، داشتند و از بین این دو گروه (G_2 و G_4)، خانوارهایی با سطوح کوچک‌تر زراعت و تعداد دام متوسط به‌دلیل تنوع زیستی بالاتر و فشرده‌سازی کمتر دارای تاب‌آوری بالاتر بودند. این گروه از کشاورزان به‌دلیل وابستگی زیاد به یک یا تعداد اندکی محصول در برابر تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی با خطر بیشتری مواجهه می‌باشند، بنابراین اگر در این گروه میزان تنوع زیستی افزایش یابد، از طریق بهره‌گیری از خدمات بوم‌نظام، افزایش ظرفیت سازگاری و کاهش فشرده‌سازی، تاب‌آوری افزایش خواهد یافت و این راهکار برای کمک به تصمیم‌گیری‌ها و تدوین راهبردهایی برای ترویج کشاورزی پایدار، بسیار مؤثر خواهد بود.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد بابت تأمین هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

1. Abdollahzadeh, G., Sharifzadeh, M.S., Sklenička, P., & Azadi, H. (2023). Adaptive capacity of farming systems to climate change in Iran: Application of composite index approach. *Agricultural Systems*, *204*, 103537. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103537
2. Aboubakr, G., Diaw, A., & Wünscher, T. (2016). Factors affecting rural households' resilience to food insecurity in Niger. *Sustainability, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 8*(3), 1-10. https://doi.org/10.3390/su8030181
3. Alinovi, L., D'errico, M., Mane, E., & Romano, D. (2010). Livelihoods strategies and household resilience to food insecurity: An empirical analysis to Kenya. *European Report on Development*, *1*(1), 1-52.
4. Alinovi, L., Mane, E., & Romano, D. (2008). Towards the measurement of household resilience to food insecurity: Applying a model to Palestinian household data. In Deriving Food Security Information from National Household Budget Surveys. Experiences, Achievement, Challenges (pp. 137-152). Food and Agricultural Organization of the United Nations.

5. Allen, C.R., Angeler, D.G., Garmestani, A.S., Gunderson, L.H., & Holling, C.S. (2014). Panarchy: Theory and application. *Ecosystems*, *17*, 578-589. https://doi.org/10.1007/s10021-013-9744-2
6. Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Batello C., & Tittonell, P. (2020). The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. *Ecosystems and People*, *16*(1), 230-247, https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1808705
7. Béné, C., Bakker, D., Chavarro, M. J., Even, B., Melo, J., & Sonneveld, A. (2021). Global assessment of the impacts of COVID-19 on food security. *Global Food Security*, *31*, 100575. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100575
8. Brenda, B. L. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management. *BioScience*, *61*(3), 183-193. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4
9. Berry, R., Vigani, M., & Urquhart, J. (2022). Economic resilience of agriculture in England and Wales: A spatial analysis. *Journal of Maps*, *18*(1), 70-78. https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2072242
10. Bizikova, L., Waldick, R., & Larkin, P. (2017). Can we measure resilience? Reducing agriculture's vulnerability to climate change. International Institute for Sustainable Development, 8 pp.
11. Bousquet, F., Botta, A., Alinovi, L., Barreteau, O., Bossio, D., Brown, K., & Staver, C. (2016). Resilience and development: Mobilizing for transformation. *Ecology and Society*, *21*(3), 40. https://doi.org/10.5751/ES-08754-210340
12. Ciani, F., & Romano, D. (2014). Testing for Household Resilience to Food Insecurity: Evidence from Nicaragua. Third Congress from Italian Association of Agricultural and Applied Economics (AIEAA), June 25-27, Alghero, Italy. https://doi.org/10.22004/ag.econ.172958
13. Cochran, W.G. (1977) *Sampling Techniques*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, 330 p.
14. Dardonville, M., Bockstaller, C., Villerd, J., & Therond, O. (2022). Resilience of agricultura systems: Biodiversity-based systems are stable, while intensified ones are resistant and hig yielding. *Agricultural Systems*, *197*, 103365. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103365
15. Ehsani, M., & Shokoohi Z. (2022). Estimation of Iran's agricultural resilience index to climate change. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 7*(1), 63-78.
16. Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A., Javorek, S., King, D., Lindsay, K.F., Mitchell, S., & Tischendorf, L. (2015). Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture Ecosystem and Environment 200*, 219–234. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.018
17. FAO, (2016a). RIMA 2: Resilience index measurement and analysis 2. Rome: Italy: United Nations Food and Agriculture Organization. URL: http://www.fao.org/3/ai5665e. Pdf
18. FAO, (2016b). Analyzing resilience for better targeting and action. Resilience Index Measurement and Analysis-II. Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 80.
19. Franzluebbers, A.J., & Hendrickson, J.R. (2023). Should we consider integrated crop-livestock systems for ecosystem services, carbon sequestration, and agricultural resilience to climate change? *Agronomy Journal*, *116*(2), 415-432.
20. Gambo Boukary, A., Diaw, A., & Wünscher, T. (2016). Factors affecting rural households' resilience to food insecurity in Niger. *Sustainability*, *8*(3), 181. https://doi.org/10.3390/su8030181
21. Gan, X., Fernandez, I.C., Guo, J., Wilson, M., Zhao, Y., Zhou, B., & Wu, J. (2017). When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators*, *81*, 491-502. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068
22. Gil, J.D., Cohn, A.S., Duncan, J., Newton, P., & Vermeulen, S. (2017). The resilience of integrated agricultural systems to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *8*(4), e461.
23. Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *4*(1), 1-23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245
24. Kahiluoto, H., Kaseva, J., Balek, J., Olesen, J.E., Ruiz-Ramos, M., Gobin, A., & Trnka, M. (2019). Decline in climate resilience of European wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(1), 123-128. https://doi.org/10.1073/pnas.1804387115
25. Koocheki, A., Mahallati, M.N., Bannayan, M., & Yaghoubi, F. (2022). Simulating resilience of rainfed wheat–based cropping systems of Iran under future climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *27*(4), 27. https://doi.org/10.1007/s11027-022-09996-3

26. Leis, N., & Rostami, F., & Alibeygi, A.H. (2022). Strategies to improve farmers' resilience to drought from the perspective of experts: A study in Miandoab county. *Geography and Development*, *19*(65), 77-98. http://doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6540
27. López Rodríguez, S., van Bussel, L.G.J., & Alkemade, R. (2024). Classification of agricultural land management systems for global modeling of biodiversity and ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *360*, 108795. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108795
28. Macholdt, J., Piepho, H.P., & Honermeier, B. (2019). Does fertilization impact production risk and yield stability across an entire crop rotation? Insights from a long-term experiment. *Field Crops Research*, *238*, 82-92. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.014
29. Mansourikhah, H., Chamani, M., Karimi, N., Asgari, Q., & Karimi, K. (2022). Determining the metabolizable energy and the daily requirement of forage dry matter under maintenance conditions for grazing sheep in the Siya Plus pasture (study: Lar National Park). *Animal Science Knowledge and Research*, *6*(1), 43-56. https://doi.org/10.22092/ASJ.2020.128835.2021
30. Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M.E., Morgan, H., Clark, S.S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. *Science of the Total Environment*, *613*, 1275-1283. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086
31. Moreira, L.L., de Brito, M.M., & Kobiyama, M. (2021). Effects of different normalization, aggregation, and classification methods on the construction of flood vulnerability indexes. *Water*, *13*(1), 98. https://doi.org/10.3390/w13010098
32. Nakhli, S.R., & Bastani, M. (2023) An Investigating and calculating the resilience of agricultural production with an emphasis on Iran's food security. *Journal of Defense Economics and Sustainable Development*, *29*, 73-101. https://doi.org/10.30495/JAE.2021.20982.2000
33. Olalekan, O.S., & Abbyssinia, M. (2023). Access to special support grants and relative impact of resilience pillars on households' resilience capacity in the Eastern Cape, South Africa: Application of FAO's Shiny RIMA tool. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*.
34. Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., & Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, *34*(2), 96-112. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.003
35. Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A., & Bullock, J.M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology and Evolution*, *30*(11), 673-684. https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009
36. Pannell, D.J., & Glenn, N.A. (2014). A framework for the economic evaluation and selection of sustainability indicators in agriculture. *Ecological Economics*, *33*(1), 135-149. https://doi.org/10.3390/su10124823
37. Paramesh, V., Ravisankar, N., Behera, U., Arunachalam, V., Kumar, P., Solomon Rajkumar, R., Dhar Misra, S., Mohan Kumar, R., Prusty, A. K., Jacob, D., & Panwar, A.S. (2022). Integrated farming system approaches to achieve food and nutritional security for enhancing profitability, employment, and climate resilience in India. *Food and Energy Security*, *11*, e321. https:// doi. org/ 10. 1002/ fes3. 321
38. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., & Laurila, I.P. (2009). Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realisation. *Field Crops Research*, *110*(1), 85-90. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.07.007
39. Peterson, C.A., Bell, L.W., Carvalho, P.C.D.F., & Gaudin, A.C. (2020). Resilience of an integrated crop–livestock system to climate change: A simulation analysis of cover crop grazing in southern Brazil. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 604099. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.604099
40. Renard, D., & Tilman, D. (2019). National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, *571*(7764), 257-260. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y
41. Salek, M., Hula, V., Kipson, M., Dankova, R., Niedobova, J., & Gamero, A. (2018). Bringing diversity back to agriculture: Smaller fields and non-crop elements enhance biodiversity in intensively managed arable farmlands. *Ecological Indicators*, *90*, 65–73. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.03.001
42. Shakeri Bostanabad, R., Mahdiar Esmaili, M.R., & Salehi Kamroudi, M.(2022). Economic Resilience of Iran's Agriculture Sector. *Journal of Agricultural Economics Research*, *13*(4), 41-59. SID. https://sid.ir/paper/999909/en

43. Sibrian, R., d'Errico, M., Palma de Fulladolsa, P., & Benedetti-Michelangeli, F. (2021). Household resilience to food and nutrition insecurity in Central America and the Caribbean. *Sustainability*, *13*(16), 9086. https://doi.org/10.3390/su13169086
44. Szabo, S., Hossain, M.S., Adger, W.N., Matthews, Z., Ahmed, S., Lázár, A.N., & Ahmad, S. (2016). Soil salinity, household wealth and food insecurity in tropical deltas: Evidence from south-west coast of Bangladesh. *Sustainability Science*, *11*, 411-421. https://doi.org/10.1007/s11625-015-0337-1
45. Szymczak, L.S., de Faccio Carvalho, P.C., Lurette, A., De Moraes, A., de Albuquerque Nunes, P.A., Martins, A.P., & Moulin, C.H. (2020). System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration. *Agricultural Systems*, *184*, 102904. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102904
46. Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, *2*, 53. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd
47. Tam, G. C. (Ed.). (2017). *Managerial strategies and green solutions for project sustainability*. IGI Global.
48. Varyvoda, Y., & Taren, D. (2022). Considering ecosystem services in food system resilience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(6), 3652. https://doi.org/10.3390/ijerph19063652
49. Volkov, A., Žičkienė, A., Morkunas, M., Baležentis, T., Ribašauskienė, E., & Streimikiene, D. (2021). A multi-criteria approach for assessing the economic resilience of agriculture: The case of Lithuania. *Sustainability*, *13*(4), 2370. https://doi.org/10.3390/su13042370
50. Wu, R.M., Zhang, Z., Yan, W., Fan, J., Gou, J., Liu, B., & Wang, Y. (2022). A comparative analysis of the principal component analysis and entropy weight methods to establish the indexing measurement. *PloS One*, *17*(1), e0262261. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262261
51. Yang, L.N., Pan, Z.C., Zhu, W., Wu, E.J., He, D.C., Yuan, X., Qin, Y.Y., Wang, Y., Chen, R.S., Thrall, P.H., Burdon, J.J., Shang, L.P., Sui, Q.J., & Zhan, J. (2019). Enhanced agricultural sustainability through within-species diversification. *Nature Sustainability*, *2*(1), 46-52. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0201-2
52. Zampieri, M., Weissteiner, C.J., Grizzetti, B., Toreti, A., van den Berg, M., & Dentener, F. (2020). Estimating resilience of crop production systems: From theory to practice. *Science of the Total Environment*, *735*, 139378. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139378
53. Zandi, R, (2017). Climatic classification of Razavi-Khorasan province with de Martonne method using geographic information system. *New Research in Geographical Sciences, Architecture and Urban Planning*, *10*(1): 21-34.
54. Zhang, J., Ren, W., An, P., Pan, Z., Wang, L., Dong, Z., & Tian, H. (2015). Responses of crop water use efficiency to climate change and agronomic measures in the semiarid area of northern China. *PloS One*, *10*(9), e0137409. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137409